

# 大規模水門における温度ひび割れ対策の実施と ICT の活用について

## － 一関遊水地舞川水門新設工事 －

### Measures to Prevent Thermal Cracking of Concrete and Efforts to the Productivity Improvement Using ICT in the Large Water Gate Construction

金本 和憲\*1      為石 昌宏\*1      藤原 祐一郎\*2  
Kazunori Kanemoto    Masahiro Tameishi    Yuichiro Fujiwara  
牛嶋 浩一朗\*3      西岡 勲\*3  
Koichiro Ushijima      Isao Nishioka

#### 要旨

舞川水門の躯体構造物は、コンクリートの施工時において温度応力による有害なひび割れの発生が懸念された。そのため、3次元温度応力解析を行い、本構造物に対して有効なひび割れ対策方法の検討を行った結果、パイプクーリングを主体とした複数の対策を組み合わせることにより、ひび割れの発生を抑制できることが判った。実際の施工では、検討結果を基に対策を実施し、ひび割れの発生を抑制することができた。また、本工事は ICT 活用工事に指定されており、水門全体を対象とした 3次元出来形管理や、躯体構築後の築堤盛土を対象とした ICT 機器による施工を行うことにより、安全で確実な管理と作業日数の短縮が可能となった。

本報告では、複合的なひび割れ対策を必要とした本体壁の施工と ICT を活用した施工・管理について報告する。

キーワード：温度ひび割れ、温度応力解析、パイプクーリング、膨張材、ひび割れ誘発目地、ICT、ICT 土工

## 1. はじめに

北上川中流部の岩手県南部に位置する一関・平泉地区は、その地理的特性から古来より水害に悩まされている。1947（昭和 22）年のカスリン台風および 1948（昭和 23）年のアイオン台風の洪水による大水害に見舞われ、これらの水害を契機に一関遊水地が計画され、1972（昭和 47）年に事業着手された。遊水地は、市街地を洪水から守る周囲堤と、中小洪水時には遊水地内に洪水が入ることを防ぎ水田等を守る小堤からなり、第 1・第 2・第 3 の 3 つの遊水地で構成されている。

舞川水門は第 3 遊水地に構築されるものであり、全長 109m、最大幅 60m、堰柱高さ 23m、コンクリートの総使用量が 25,000m<sup>3</sup> の大規模水門である。竣工時の水門全景を写真 1 に示す。

舞川水門は特に本体部の壁厚は 4.5m と厚く、暑中を含む期間に施工を行うことから、有害なひび割れの発生が懸念された。そこで、著者らは 3次元温度応力解析を実施し、本体構造物におけるひび割れ対策の有効性を確認した<sup>1)</sup>。

また、本工事は ICT 活用工事に指定されており、水門構造物および築堤盛土を対象に 3次元モデルを活用した。ICT 土工としては、ICT 建設機械による築堤盛土の施工を行い、品質管理として GNSS（全球測位衛星システム）を用いた締固め管理や、地上型レーザースキャナー（以下、TLS）を用いた出来形管理を行った。

本報告では、温度ひび割れ対策を選定する過程からその対策を実施した結果と、あわせて ICT を活用した施工・管理について報告する。

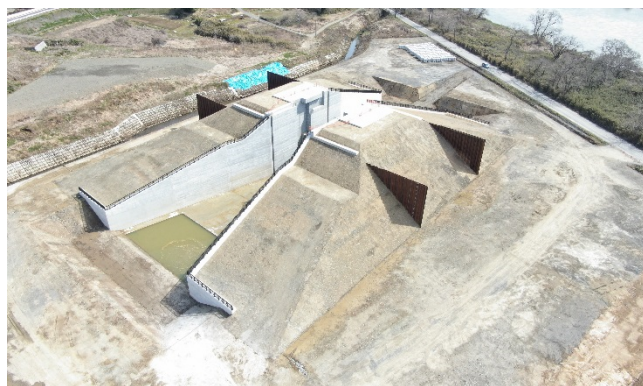


写真 1 水門全景（竣工時）

## 2. 温度ひび割れ対策検討

### 2.1 本体部の概要

図 1 に、舞川水門の一般図を示す。本構造物は、本体部と翼壁部 5 ブロック（川表 A、B、川裏 A、B、C）の合計 6 ブロックで構成される。本体部は、厚さ 4.0m の底版上に厚さ 4.0～4.5m の壁状の堰柱と胸壁を構築するため、底版コンクリートと前リフトによる外部拘束にともなう貫通ひび割れの発生が懸念された。また、部材厚が大きいと、部材の内外の温度差による内部拘束にともなうひび割れが発生

\*1 技術本部 土木技術部

\*2 技術本部 技術企画部

\*3 東北支店 土木部

する恐れもあった。そして、打込み期間は、1月中旬から同年10月まで長期にわたるため、特に夏期に施工するリフトについては、ひび割れ発生に対して注意が必要であった。

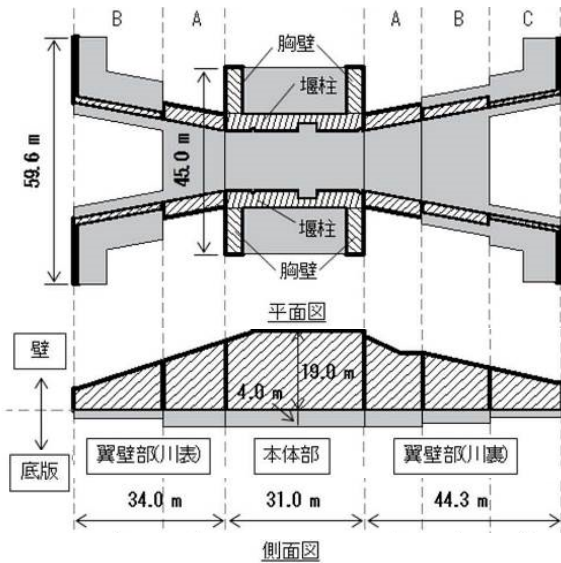


図1 舞川水門一般図(平面図、側面図)

## 2.2 ひび割れの照査方法

ひび割れの照査は、2012年制定 コンクリート標準示方書【設計編】(以下、コンクリート示方書)に記載の方法により、式(1)に基づき照査を行った。

$$I_{cr}(t) \geq \gamma_{cr} \quad (1)$$

ここに、 $I_{cr}(t)$  : ひび割れ指数

$\gamma_{cr}$  : ひび割れ発生確率に関する安全係数

本検討では、温度ひび割れの制御水準を、「ひび割れの発生を許容するが、ひび割れ幅が過大とならないように制限したい場合」とし、安全係数  $\gamma_{cr}$  を 1.0 以上とした。

## 2.3 ひび割れの解析手法

コンクリートの温度は非定常熱伝導解析を、応力はコンクリートの温度およびヤング係数の変化を考慮した応力解析を、いずれも三次元有限要素法を用いて実施した。解析プログラムは、「ASTEA-MACS ver9.2.6」を使用した。

## 2.4 解析モデル

図2に、水門本体の解析モデルを示す。構造物の対称性から本体および翼壁それぞれ軸対称 1/2 モデルとした。また、モデル化する地盤とメッシュの分割については、コンクリート示方書に準拠し、モデル化する地盤の深さは 10.0m、幅は構造物の2倍である 62.0m とした。

## 2.5 解析ケース

表1に、解析ケースの一覧を示す。本構造物のように部材厚さが大きい場合、水和熱による温度上昇が大きくなるため、その温度を抑制する対策が最も効果的であると考えられた。そこで、セメントの水和熱を抑制する対策としては、低熱ポルトランドセメントのように水和熱が小さい結合材の使用、もしくは、打込み後のコンクリートを冷やすことで温度の上昇量を低減することのできるパイプクーリングが有効と考えた。

水和熱の小さい結合材を使用する場合、コンクリート打込み量が非常に大きく(約 5,500m<sup>3</sup>)、セメントの変更による費用が過大となる。一方、パイプクーリングの場合、配置の工夫によってはその費用がコンクリート量に左右されにくく、確実に大断面での温度上昇を抑制でき、かつ実績も多い対策工法であることから、本工法を基本の対策とした。基本対策である①パイプクーリングのみでは、目標のひび割れ指数を満足できない場合、その他の対策として表1に示す②～⑤の対策を併用することで検討を行った。

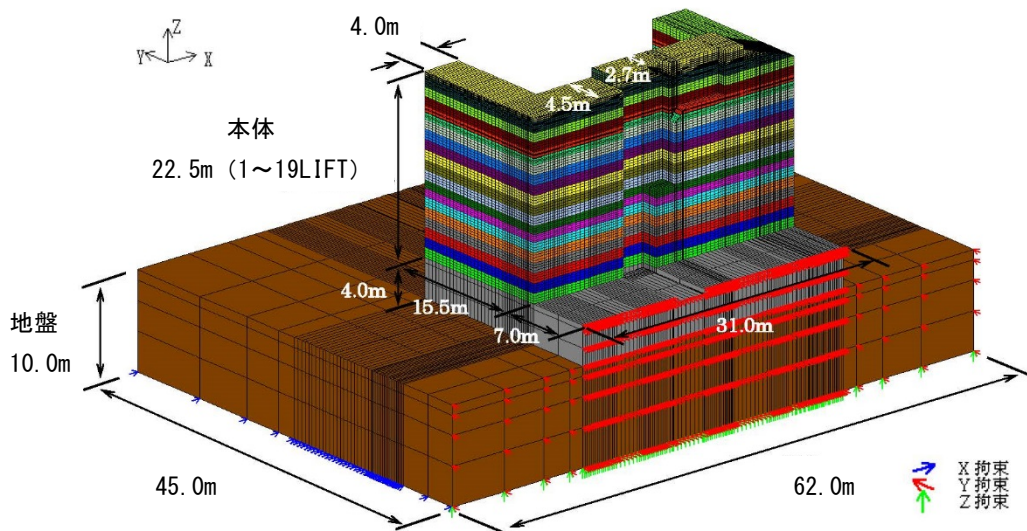


図2 解析モデル

表1 解析ケース一覧

対策	解析ケース					
	A 無対策	B	C	D	E	F
①パイプクーリング	-	○	○	○	○	○
②打設高さの抑制 (1.5m→1.0m)	-	-	○	○	○	○
③膨張材使用	-	-	-	○	○	○
④ひび割れ誘発目地の設置	-	-	-	-	○	○
⑤クーリングパイプの配置見直し	-	-	-	-	-	○

## 2.6 解析条件

### 2.6.1 コンクリートの配合

表2に、コンクリートの配合を示す。設計基準強度は24 N/mm<sup>2</sup>、セメントは高炉B種とした。膨張材を使用するケースは、単位セメント量を膨張材の使用量で置換した。

表2 配合表

	W/B (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )				
		水	セメント	膨張材	細骨材	粗骨材
標準	53.8	161	299	0	810	1053
対策	53.8	161	279	20	810	1053

B=セメント+膨張材

### 2.6.2 コンクリートの打込み工程

コンクリートの打込み工程は、実際の工程に合わせて、1リフト目の打込み日を1月中旬、最終の19リフトを10月中旬とする約10ヶ月間とした。なお、解析期間は最終リフト打込み後、60日までとした。

### 2.6.3 気温および打込み温度

外気温は、図3に示すように本現場の位置する岩手県一関市（気象庁観測地点）での過去3ヶ年（2015～2017年）の月別平均気温を直線補間して用いた。また、コンクリートの打込み温度は、打込み日の外気温+5℃とした。

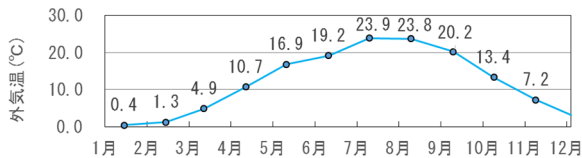


図3 一関市の月別平均気温 (2015～2017年)

### 2.6.4 物性値

コンクリートおよび地盤の熱特性および力学特性については、コンクリート示方書および「マスコンクリートのひび割れ制御指針 2016」<sup>2)</sup>に準拠した。膨張材を使用した対策配合の膨張ひずみは、同指針の算定式（解4.2.10）を適用した。

### 2.6.5 熱伝達境界

コンクリートの境界部における熱伝達率は、前述の指針を参考に表3に示す値を用いた<sup>2)</sup>。また、地盤の側面は断熱境界とし、下面は岩手県一関市の過去3年間の年平均気温である12.0℃を固定温度境界とした。

表3 熱伝達率<sup>2)</sup>

対象箇所	境界種別	熱伝達率 (W/m <sup>2</sup> °C)	
地盤、既設底版表面	露出面	一定値	14
		打設～材齢7日	8
側面	合板	材齢7日以降	14
		打設～材齢7日	8
上面	湛水	材齢7日以降	14
		打設～材齢7日	8

### 2.6.6 パイプクーリング

クーリングパイプには直径25.4mmの使用を想定し、隣り合うパイプとの間隔を500mm（パイプとコンクリート表面間は1,000mm）、1系統のパイプ延長は150m以下とした。解析上の通水温度は15.0℃、通水量は15L/min、通水期間は打込み直後から材齢5日までとした。なお、移流拡散機能を用いて冷却水と水和熱の授受による冷却水温の上昇をステップ毎に算出することで、パイプ経路による冷却効果の減少を考慮した。

### 2.6.7 誘発目地

ひび割れ誘発目地は、ボンドリンク要素を用いた離散ひび割れモデルとし、ボンドリンク要素に作用する引張応力が設定した引張強度を超えた時、ボンドリンク要素が切り離される挙動をひび割れ発生とした。また、設置する誘発目地の断面欠損率は、コンクリート示方書に準拠して50%以上とすることから、目地部のボンドリンク要素における引張強度の低減係数を0.5として設定した。

## 2.7 解析結果と対策の検討

### 2.7.1 無対策時におけるひび割れ予測（ケースA）

図4に無対策の場合（ケースA）における最高温度の分布を、図5に最小ひび割れ指数の分布を示す。各リフトの断面中心部の最高温度は、3～4月で43.5～55.4℃、夏期となる6～8月では62.6～68.5℃となる。断面中心部の各リフトの最小ひび割れ指数は0.35～0.68といずれも1.0を大きく下回る結果であり、一般に温度ひび割れに対して有利な時期である冬期においても0.5未満となる箇所が生じた。断面厚さ4.5mの一般部より、水門ゲート設備が設置される断面厚さ2.7mの断面減少部の方が、各リフトとも1～2割ほど値が小さくなる傾向にあった。これは、断面減少部が本体堰柱壁の中央部に位置し、かつ断面厚さが小さくなっていることにより、底版コンクリートおよび既設リフ

トによる拘束が強まり、発生する縦断方向の引張応力が大きくなったためと考えられる。

また、中心部のみならず表面部における全断面において、ひび割れ指数 1.0 以下の箇所が見られることから、外部拘束による貫通ひび割れ、および、内部拘束による表面ひび割れが多数発生する可能性が高いと予想された。

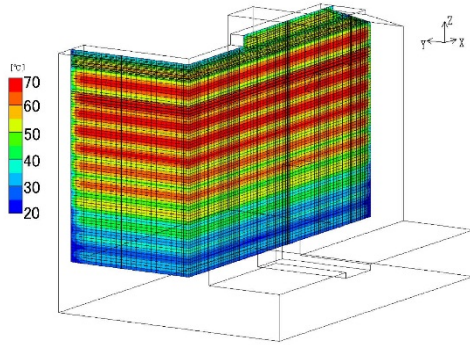


図 4 最高温度の分布 (ケース A・無対策)

容積当りのパイプの必要延長を低減することができる。本体部ではクーリングパイプ総延長を約 170,000m から 140,000m に減少することができた。打込み高さを低くすることで、ケース B と比較し、部材内部温度は最大 9.0°C、平均で 2.6°C 低減することができた。それにともないひび割れ指数も改善されたが、各リフトのひび割れ指数は、0.56 ~ 0.77 と照査基準である 1.0 を満足しなかった。

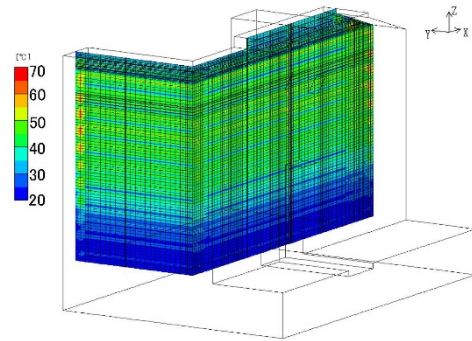


図 6 最高温度の分布 (ケース B)

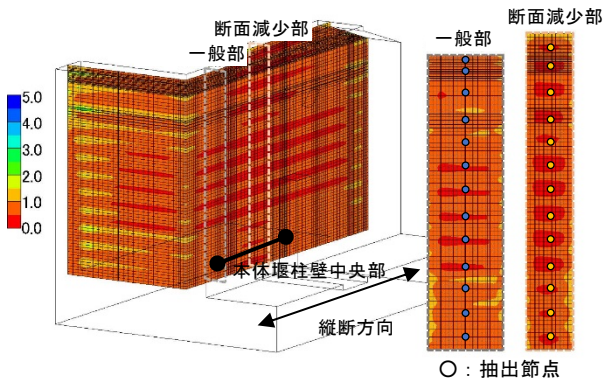


図 5 最小ひび割れ指数の分布 (ケース A・無対策)

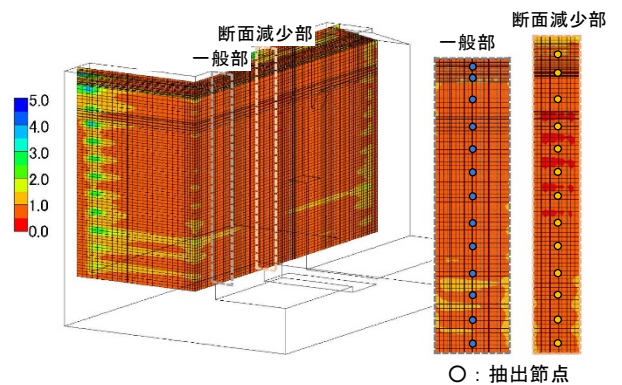


図 7 最小ひび割れ指数の分布 (ケース B)

### 2.7.2 パイプクーリングと打込み高さの抑制(ケース B およびケース C)

図 6 にパイプクーリングを実施した場合 (ケース B) における最高温度の分布を、図 7 に最小ひび割れ指数の分布を示す。各リフトの断面中心部の最高温度は、3~4 月で 33.1~36.7°C、さらに夏期となる 6~8 月では 42.4~47.2°C となり、ケース A と比較し概ね 20°C 低下した。そして、断面中心部の各リフトの最小ひび割れ指数は 0.1 程度向上したものの、0.44~0.77 といずれも 1.0 を大きく下回る結果であった。

そこで、ケース C では 1 リフトあたりの打込み高さを 1.5m から 1.0m に低くすることで、部材内部温度のさらなる低減を図った。図 8 に示すクーリングパイプ配置のように、打込み高さを 1.5m とするとクーリングパイプを 2 段配置する必要があったが、打込み高さを 1.0m とすることで 1 リフト当たり 1 段のパイプ配置となり、コンクリートの単位

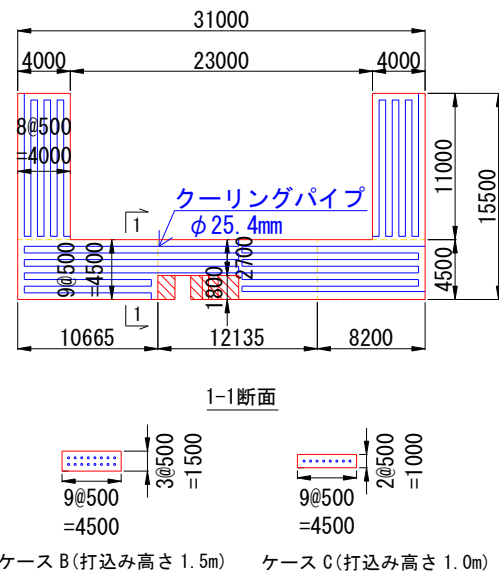


図 8 クーリングパイプ配置概略

### 2.7.3 膨張材の使用（ケース D）

本工事では、環境負荷低減目的のため、標準配合のセメントが高炉 B 種となっているが、高炉 B 種を用いたコンクリートでは、セメントの水和熱によるコンクリート温度が高いほど若材齢における自己収縮速度が大きく、また長期材齢における自己収縮ひずみも大きくなる<sup>2)</sup>。本解析結果において、各リフトの最小ひび割れ指数の材齢は 5 日前後と若材齢のものが多く、自己収縮量が大きくなる材齢と一致する。このことから、コンクリートの自己収縮により生じる引張応力が温度応力をさらに増加させるため、その低減が重要であると考えられた。そこで、表 2 に示すように混和材として膨張材を添加した配合を対策に追加した。

図 9 に膨張材を使用した配合における（ケース D）の最小ひび割れ指数の分布を示す。解析の結果、発生引張応力は  $0.8 \sim 1.2 \text{ N/mm}^2$  低減され、最小ひび割れ指数は、 $0.2 \sim 0.4$  程度良化し  $0.73 \sim 1.23$  となった。しかし、5 月までに打込みを実施する 9 リフトの一般部（幅 4.5m）では、目標とするひび割れ指数 1.0 を満足することができたが、それ以降に打込みを行うリフトや、断面減少部（幅 2.7m）では、ほぼ全リフトにおいて目標とするひび割れ指数 1.0 を満足することができなかった。

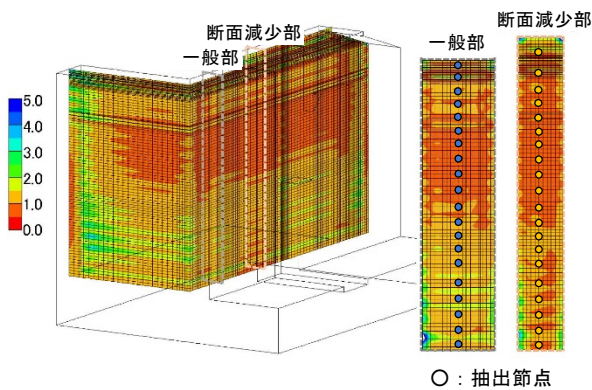


図9 最小ひび割れ指数の分布（ケース D）

### 2.7.4 ひび割れ誘発目地の検討（ケース E）

前述の対策では、目標とするひび割れ指数 1.0 を満足することができないリフトや部位があることから、追加の対策としてひび割れ誘発目地の設置について検討を行った。ひび割れ誘発目地の設置位置は、図 10 に示す発生応力のベクトルに基づき検討を行った。具体的には、堰柱において縦断方向に引張力が生じた場合、a 部は断面が減少しているためより大きな応力が生じる。そこで、断面減少部を挟む形でひび割れ誘発目地を設置し、発生引張応力の低減を図った。また、b 部は堰柱と胸壁の境目となる隅角部であり、堰柱で生じる縦断方向の応力と胸壁で生じる幅員方向の応力が合力となり、大きな応力が発生する箇所であった。

そのため、堰柱と胸壁の境目にひび割れ誘発目地を設置して、合力として部材に作用する応力を分散させた。

図 11 にひび割れ誘発目地を採用した場合（ケース E）における最小ひび割れ指数の分布を示す。部材内部温度はケース D と同じであるが、最小ひび割れ指数は大幅に改善され、a 部では  $1.01 \sim 1.71$ 、b 部では  $1.05 \sim 1.42$ 、新たに調査断面とした隅各部においては 1.20 以上となり、断面内部ではいずれの箇所においても 1.0 を上回った。

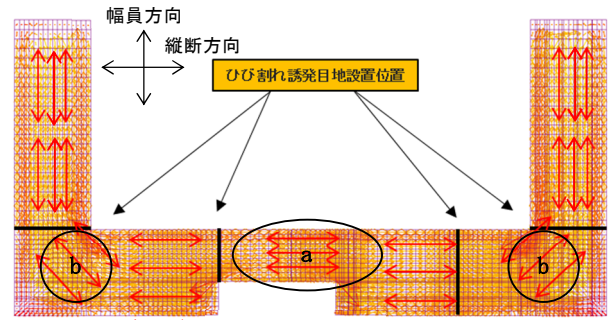


図10 発生応力のベクトル

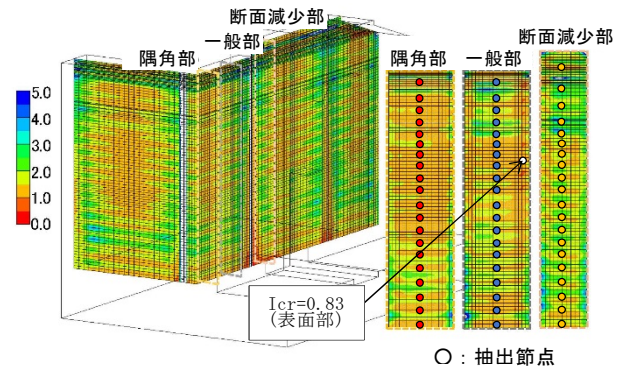


図11 最小ひび割れ指数の分布

### 2.7.5 パイプ配置の見直し（ケース F）

ケース E にて、断面内部ではいずれの箇所においても最小ひび割れ指数が 1.0 を上回ったが、表面付近において 1.0 を下回る箇所が確認された。そこで、クーリングパイプ配置を見直し、パイプとコンクリート表面の距離を 1,000mm から 500mm としたケース F の解析を行った。その結果、部材表面温度は  $4.1^\circ\text{C}$  低減され  $36.2^\circ\text{C}$  に、最小ひび割れ指数が最も小さい 0.83 であった箇所が 0.52 良化し、1.35 となった。ケース F にて、断面内部・表面部全ての箇所において目標とするひび割れ指数 1.0 を上回ったため、本構造物の施工案としてケース F を採用した。

## 3. 温度ひび割れ抑制対策の実施

### 3.1 クーリング設備

図 12 に水門本体のパイプ配置（平面図）を示す。クー

リングパイプの配置系統は片側4箇所を設置するひび割れ誘発目地の位置を考慮し、川表および川裏側の左右胸壁に各1系統、堰柱部は片側3系統とし合計10系統とした。

実際に配置したクーリングパイプは、打込み日の変更や気温の変動などにより打込み温度が解析時より高くなる場合もあることなどを想定し、解析時より直径の大きなφ34mmの一般構造用炭素鋼管(STK400-E-G)を使用した。クーリング水は地下水を使用し、解析時に設定した通水温度である15℃以下となるように、冷却能力75kWの空冷チラーユニットを冬期は1台、夏期は3台使用することとした。また、各リフトの打込み前には系統毎に通水試験を実施し、通水量およびパイプ継手部からの漏水の有無の確認を行った。

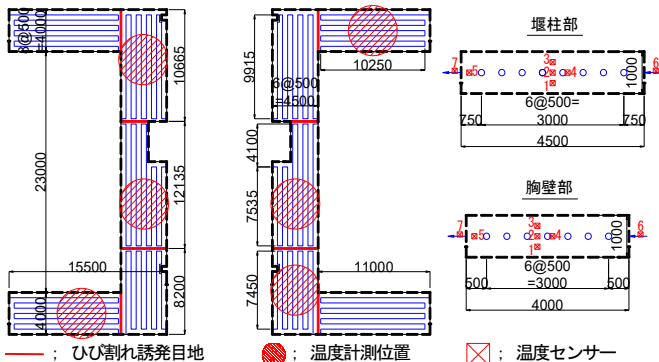


図12 パイプ配置平面図

### 3.2 計測計画

クーリング管理のため、各リフトの打込み毎に、コンクリート内部4箇所（断面上部、断面中央、断面下部およびクーリングパイプ近傍）、コンクリート表面部、クーリングパイプの入口と出口における各々の温度と外気温の計測を行うこととした。また、現地で計測した各温度はクラウドサーバーへ送信し、リアルタイムで離れた事務所のパソコンやスマートフォンでも確認できるようにした。

### 3.3 クーリング管理

パイプクーリングの管理については、各リフトで計測されるコンクリートのピーク温度を管理対象とした。ピーク温度は、打込み当日のコンクリート温度や外気温の影響を受けて解析値を上回る可能性が考えられたため、計測温度をリアルタイムで確認し、解析値を大きく逸脱しないよう、通水量・通水温度を調節した。通水は原則打込み時から開始し、コンクリートの内部温度がピークに達した後、過冷却で温度勾配が急激とならないように、そのピーク温度から5~10℃低下した後に停止した。その後は、再上昇した温度がピーク温度を超えないように管理を行った。

### 3.4 温度計測結果

温度計測結果として、図13に5月に打込みを行った本体第5リフトの温度履歴を、図14に7月に打込みを行った本体第12リフトの温度履歴を示す。

なお、実施工では全リフトにおいて、解析条件(φ:25.4mm)より径の大きなクーリングパイプ、通水量を多くできる設備を採用した。

第5リフトでは、前述のようにクーリングパイプ径を大きくし、通水量を解析時より4割程度多い22L/minで実施した。その結果、コンクリートの打込み温度が解析時より5℃高い18℃であり、かつ日平均気温が解析時より5℃程度高かったにも関わらず、ピーク時までの温度履歴を解析結果とほぼ一致させることができた。

暑中時の打込みとなった第12リフトでは、解析時のひび割れ指数が1.06であり、特にピーク温度が解析値を超えないように管理する必要のあるリフトであったが、第5リフトと同様にクーリングパイプ径を大きくし、通水量を多くすることにより、解析値より低い温度での管理を行った。

表4に各リフトにおけるコンクリート内部最高温度比較一覧表を示す。各リフトにおけるコンクリート内部最高温度は、実測と解析の最大差が4リフトにおける5.8℃であり、打込み温度や外気温が解析条件より高いリフトについても、管理値を上回らないように施工を行うことができた。

コンクリート打込み時の状況を写真2に示す。本体工事では1mのリフト高さの中央にクーリングパイプを配置することにより、パイプ位置を確認しながら締め作業を行うことができ、バイブレーターをパイプに当てるなどして

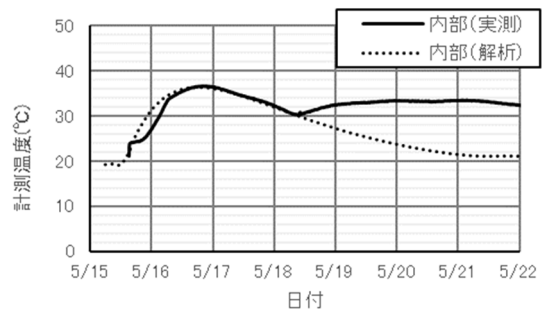


図13 第5リフト温度履歴

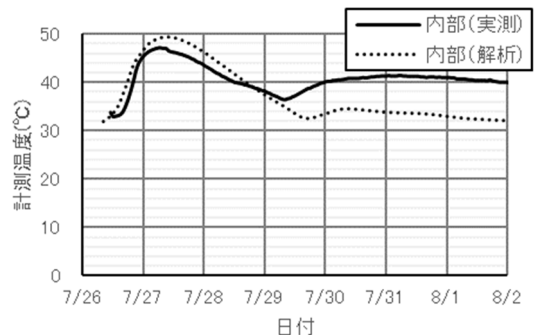


図14 第12リフト温度履歴

表4 各リフトにおけるコンクリート内部最高温度比較一覧表

リフト	内部最高温度 (°C)		実測-解析
	解析	実測	
1リフト	22.4	24.0	1.6
2リフト	26.2	27.0	0.8
3リフト	29.6	32.0	2.4
4リフト	33.2	39.0	5.8
5リフト	36.6	38.0	1.4
6リフト	40.2	43.0	2.8
7リフト	41.3	40.0	-1.3
8リフト	42.7	42.0	-0.7
9リフト	43.1	44.0	0.9
10リフト	44.9	44.0	-0.9
11リフト	47.3	46.0	-1.3
12リフト	49.1	48.0	-1.1
13リフト	49.2	53.0	3.8
14リフト	48.9	46.0	-2.9
15リフト	46.2	47.0	0.8
15'リフト	45.8	48.0	2.2
16リフト	45.8	40.0	-5.8
17リフト	44.3	46.0	1.7
18リフト	42.9	36.0	-6.9
19リフト	33.9	34.0	0.1



写真2 コンクリートの打込み状況

発生する漏水を起こすことなく、また、漏水が発生した場合でも直ちに目視確認できるなどの利点があった。

#### 4. ICT を活用した施工・管理

本工事では、ICT、BIM/CIM などの現場の生産性向上に繋がる新技術を積極的に導入し、施工および施工管理の効率化を図ってきた<sup>3~5)</sup>。その一例として、3次元出来形管理や、躯体構築後の築堤盛土を対象とした ICT 土工による施工管理について紹介する。

##### 4.1 3次元設計データの作成

最大で 100 万点/秒を照射可能な TLS (TrimbleTX-8) を使用して築堤盛土の起工測量を実施し、3次元設計データを作成した。なお、点群密度は「地上型レーザースキャナーを用いた出来形管理要領(土工編)(案)」(2020年3月、国土交通省)に準拠し、1点以上/0.25m<sup>3</sup>とした。

図15に、作成した3次元設計データを示す。3次元設計データを活用することで盛土の最終仕上がり形状や範囲に

ついて、横断図では不明瞭な部分の把握が容易になる。本現場では数量のチェックに使用し、平均断面法により算出される全体土量との差が 277m<sup>3</sup> (誤差 1.0%以内)であったことから、当初想定 of 土量が妥当であることを確認できた。

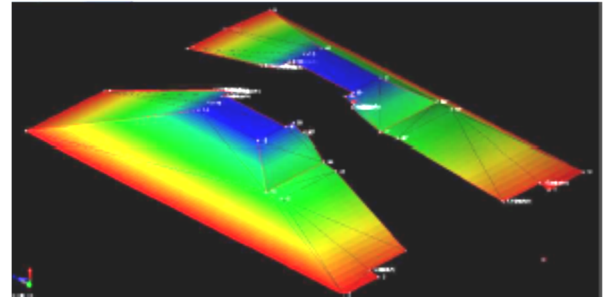


図15 3次元設計データ (築堤盛土)

##### 4.2 ICT 機器による施工と出来形管理

本現場における築堤盛土(盛土量約 35,000m<sup>3</sup>)について、作成した3次元設計データを用いて、ICT 建設機械により施工を行った。

盛土材の敷均しには、3次元マシンガイダンスブルドーザを使用した。ブルドーザの排土板の位置・標高をリアルタイムに取得し、表示される3次元設計データとの差分を基に排土板を制御して敷均しを実施した。法面整形では3次元マシンコントロールバックホウ(以下、MC バックホウ)を使用した。バックホウのバケットの位置・標高をリアルタイムに取得し、表示される3次元設計データとの差分を基にバケットを誘導して法面整形を実施した。

写真3に MC バックホウによる法面整形状況を示す。MC バックホウの導入により、安全で確実な管理が実施可能となった。また、丁張り等の作業も削減でき、作業予定期間2ヶ月間のうち、約1割程度短縮することができた。



写真3 MCバックホウによる法面整形状況

写真4に回数管理による築堤盛土の転圧状況(車載モニター)を示す。ICT 建設機械により施工した盛土の品質管理は、GNSS を用いた締固め管理を実施した。具体的には、車載モニターに、色別で表示される転圧回数を直接確認しながら施工することで、人為的なミスによる転圧過不足を防止し、試験盛土で決定した管理基準を確保した。

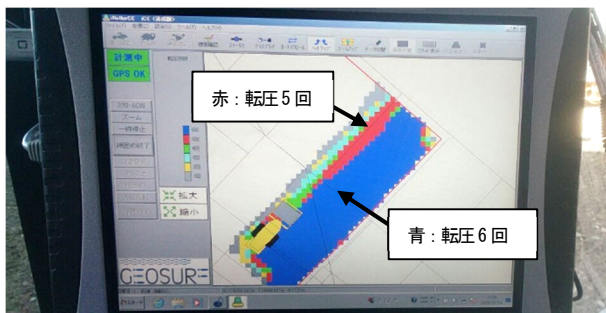


写真4 回数管理による転圧状況（車載モニター）

図16に出来形合否判定総括表の例を示す。本総括表は、法面等の部位毎に1枚で、出来形管理資料として机上検査に供する資料である。出来形管理として、TLS計測を行い作成した出来形点群データと3次元設計データとを比較した出来形合否判定総括表を作成し、各ポイントにおける較差が規格値以内であることを確認した。

出来形合否判定総括表			測点																							
工種	河川土工	測量	測量																							
種別	築堤盛土	合形判定結果	合格																							
天端 標準較差	<table border="1"> <tr><td>平均値</td><td>-12 mm</td><td>規格値</td><td>-50 mm</td></tr> <tr><td>最大値(%)</td><td>76 mm</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>最小値(%)</td><td>-116 mm</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>データ数</td><td>230ポイント</td><td></td><td>1点/部以上(230点以上)</td></tr> <tr><td>評価部数</td><td>230 部</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>棄却部数</td><td>0ポイント</td><td></td><td>0.3% (以下 0ポイント)</td></tr> </table>	平均値	-12 mm	規格値	-50 mm	最大値(%)	76 mm			最小値(%)	-116 mm			データ数	230ポイント		1点/部以上(230点以上)	評価部数	230 部			棄却部数	0ポイント		0.3% (以下 0ポイント)	
平均値	-12 mm	規格値	-50 mm																							
最大値(%)	76 mm																									
最小値(%)	-116 mm																									
データ数	230ポイント		1点/部以上(230点以上)																							
評価部数	230 部																									
棄却部数	0ポイント		0.3% (以下 0ポイント)																							
法面 標準較差	<table border="1"> <tr><td>平均値</td><td>-10 mm</td><td>規格値</td><td>-60 mm</td></tr> <tr><td>最大値(%)</td><td>187 mm</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>最小値(%)</td><td>-170 mm</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>データ数</td><td>2849ポイント</td><td></td><td>1点/部以上(2849点以上)</td></tr> <tr><td>評価部数</td><td>2849 部</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>棄却部数</td><td>6ポイント</td><td></td><td>0.3% (以下 8ポイント)</td></tr> </table>	平均値	-10 mm	規格値	-60 mm	最大値(%)	187 mm			最小値(%)	-170 mm			データ数	2849ポイント		1点/部以上(2849点以上)	評価部数	2849 部			棄却部数	6ポイント		0.3% (以下 8ポイント)	
平均値	-10 mm	規格値	-60 mm																							
最大値(%)	187 mm																									
最小値(%)	-170 mm																									
データ数	2849ポイント		1点/部以上(2849点以上)																							
評価部数	2849 部																									
棄却部数	6ポイント		0.3% (以下 8ポイント)																							

図16 出来形合否判定総括表（一例）

### 4.3 水門構造物の出来形管理

水門構造物を対象として TLS を用いた出来形管理を行った。点群密度は、誤差を小さくするために1点以上/0.0001m<sup>2</sup>と設定した。

図17に、作成した3次元点群データを示す。3次元点群データと出来形図における直接測定値とを比較した。その結果、直接測定値と3次元計測値との差はおおむね5mm以内に収まり、最大でも20mm程度であり、3次元計測の精度として良好な結果が得られた。通常、出来形管理は特定の部位・位置について直接測定して確認を行うが、3次元点

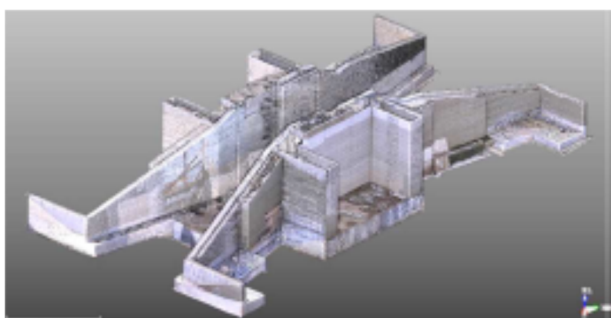


図17 3次元点群データ

群データを活用することで、任意の部位・位置についても適切に確認することができた。

## 5. おわりに

写真5に、最終リフトまで構築された本構造物の全景を示す。ひび割れ検査の結果から、0.2mmを上回るひび割れは発生していない。構造物の形状等も考慮した複合的な対策案の適用と、打込み当日のコンクリート温度や気象条件の影響まで考慮した適切なパイプクーリングの温度管理を行うことにより、有害なひび割れの発生を抑制できた。

また、躯体構築後の築堤盛土については、ICT 土工を実施したことによって、安全で確実な管理を行うことができただけでなく、従来必要であった丁張り等の作業手順を省略することにより施工の効率化を図ることができ、盛土部分の施工に要する日数を約1割削減できた。

本工事は、技術的難易度が高かったが、適切なひび割れ対策と ICT の活用により、高品質な構造物を施工することができた。また、紹介した事例以外にも、CIM モデル活用やウェアラブル端末による遠隔検査、鉄筋の機械式継手採用などの創意工夫による施工および施工管理の効率化により、工事期間において週休2日を達成することができた。本事例が、今後同種工事を行う際の一助となれば幸いである。



写真5 水門全景

### 参考文献

- 1) 金本和憲、為石昌宏、牛嶋浩一朗：大規模水門の温度ひび割れ対策について、令和元年度土木学会全国大会第74回年次学術講演会講演概要集、V-381、2019.9
- 2) 日本コンクリート工学会：マスコンクリートのひび割れ制御指針2016
- 3) 藤原祐一郎ほか：i-Constructionへの取り組み事例、鴻池組技術研究報告、Vol.29、pp.17-24、2019.7
- 4) 秋田満留、松田岳人、牛嶋浩一朗：一関遊水地舞川水門新設工事におけるICT・CIM活用事例、令和元年度土木学会全国大会第74回年次学術講演会講演概要集、VI-398、2019.9
- 5) 牛嶋浩一朗：「週休二日」を目標でなく常識に！先端技術を積極活用して、建設現場の魅力を高める、Ace建設業界、Vol.104、pp.32-37、2019.12